

〈논 문〉

탄소강의 가공조건과 마찰·마멸과의 관계

정종현* · 김대은**

(1995년 7월 25일 접수)

Effect of Machining Condition on Friction and Wear of Steel

Chong-Hyeon Cheong and Dae-Eun Kim

Key Words : Friction(마찰), Wear(마멸), Surface Integrity(표면품위), Residual Stress(잔류응력), Hardness(경도)

Abstract

Surface integrity is dictated by the fabrication process of the metal part. In this work, steel specimens were prepared under various machine conditions to achieve different degrees of deformation state. The tribological characteristics of the specimens were tested using a pin-on-disk type apparatus and other surface characterization tools. It is shown that though frictional characteristics are similar, the wear rate is significantly affected by the properties of the surface. In the case of steel, surface cracks resulted in high wear despite the relatively high hardness of the specimen. Also, the sliding action were found to reduce the residual stress on the surface. These results indicate that there is a strong relationship between surface integrity and the tribological properties of steel, and therefore, the machining condition should be optimized with respect to tribological performance of a steel part.

1. 서 론

기계요소들의 치수정밀도와 표면거칠기는 가공조건에 의존하며, 이러한 치수정밀도와 표면거칠기는 공작물의 성능을 좌우하는 중요한 요인이다. 특히 마찰, 마멸, 피로파괴와 같이 표면에 관련된 성능은 가공공정과 밀접한 관계가 있다. 그 이유는 공작물을 가공하면 필연적으로 가공변질층이 형성되어 표면의 변화를 가져와 공작물의 성능에 영향을 미치게 된다. Matsumoto, Barash와 Liu⁽¹⁾는 기계적인 소성때문에 선삭후 공작물에 잔류응력의 변화가 나타나는 것을 확인하였다. 또한 Leskovar와

Peklenik⁽²⁾도 가공변질층내에서의 잔류응력이 연삭일 경우는 인장, 선삭에서는 압축이 걸리고, 가공조건에 따라 가공변질층내에서의 경도와 잔류응력이 다르다는 것을 확인하였다. 따라서 가공공정은 표면품위를 변화시키고, 이러한 변화는 표면품위에 관련된 제품의 성능에 영향을 미친다.

대부분의 기계는 수많은 기계요소들로 구성되며, 각 기계요소는 상호 접촉을 일으키면서 설계자가 목적인 운동을 반복 수행하므로 마찰·마멸은 항상 일어난다. 또한 기계요소의 마찰과 마멸현상은 진동이나 소음을 유발시키며, 나아가서는 기계동작의 정확도 및 정밀도를 저하시키는 원인이 되기도 한다. 비록 윤활유를 사용할지라도 대부분 초기마멸을 유발시켜 최적의 윤활조건이 형성되고, 경계윤활상태일 경우 교체간의 접촉이 발생하기 때문에

*연세대학교 대학원 기계공학과

**회원, 연세대학교 기계공학과

건식 미끄럼운동과 동일한 거동이 일어난다. 이러한 마찰·마멸의 원인에 대한 이론은 완전히 정립되어 있지 않지만, 크게 화학적 관점과 기계적 관점으로 나눌 수 있다. 화학적 관점은 응착(adhesion) 이론을 그 바탕을 두고 있다. Machlin과 Yankee⁽³⁾는 두 접촉면의 요철간의 응착이 정마찰계수의 원인이라고 주장하였고, Rabinowicz⁽⁴⁾는 응착일(adhesion work)과 표면에너지의 개념을 도입하여 마찰·마멸현상을 설명하여, 마찰·마멸현상은 표면의 요철간의 응착이 가장 중요한 원인이라고 주장하였다. 그러나 마찰·마멸을 응착이론만으로 해석하기에는 몇 가지 문제점이 있다. 그 예로, Komvopopoulos, Saka 그리고 Suh⁽⁵⁾에 의한 실험결과에 나타난 경계윤활에서의 마멸과, Suh와 Saka⁽⁶⁾의 undulated surface에서 마찰과 마멸의 감소를 들 수 있다. 특히 undulated surface를 이용하여 plowing을 일으키는 마멸입자의 수를 감소시켜, 마찰과 마멸을 감소시켰는데, 경계윤활상태와 거의 비슷한 마찰계수를 얻었다. 그러므로 마찰·마멸현상은 물체의 고유한 성질이 아니라 접촉하는 두 물체의 표면품위에 관련된 현상이라고 할 수 있다.

따라서 가공공정과 마찰·마멸은 표면품위라는 중간단계를 통하여 서로 관계지을 수 있을 것이다. 그러나 가공공정에 따른 표면품위의 변화에 대하여 마찰·마멸특성이 구체적으로 어떻게 변화되는 지에 관한 연구는 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 가공공정에 따른 표면품위의 변화와 마찰·마멸과의 관계에 대한 연구의 일환으로 표면특성, 즉 경도, 가공변질층, 잔류응력, 금속조직 등과 마찰·마멸의 상관관계에 대한 연구를 수행하고, 마찰·마멸현상에 대한 근본적인 요인에 대하여 고찰해 보았다. 궁극적으로 본 논문은 형상과 표면거칠기 등 이외에 기계부품의 성능을 향상시키기 위한 가공조건을 최적화하는데 기여할 것으로 기대된다.

2. 실험내용

본 연구에서는 탄소강의 가공조건에 따른 표면품위의 변화와 마찰·마멸과의 관계를 알아보기 위하여, 표면품위중 가공변질층과 잔류응력의 차이를 가공조건에 대한 기준으로 삼았다.

가공변질층의 깊이는 금속현미경을 이용하여 측

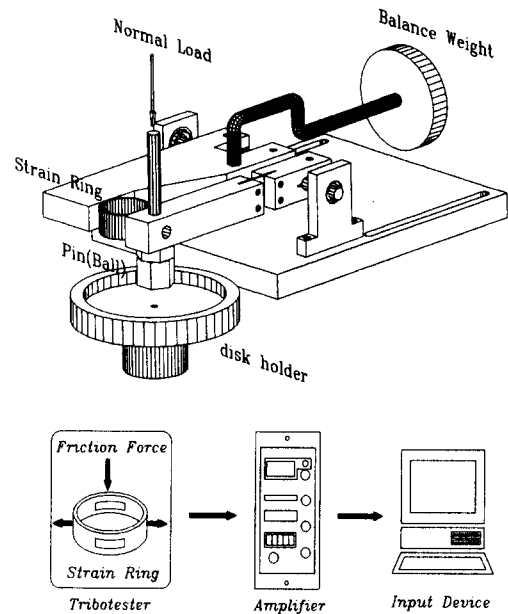


Fig. 1 Pin-on-disk type Tribotester

정하였다. 여러가지 가공조건으로 선삭된 시편들의 단면을 절단한 후 에칭하여 금속조직을 관찰하여 가공변질층의 깊이를 판단하였다. 이러한 가공변질층의 깊이를 기준으로 절삭조건을 심한 가공변질층을 형성시키는 조건과 이와 비교하였을 때 매우 경미한 가공변질층이 나타나는 절삭조건으로 나누어 시편을 가공하였다. 그리고 가공시 절삭유의 사용 유무에 따라서 표면에 잔류응력의 변화만 주고 경도는 거의 변하지 않는 것을 이용하여, 절삭유의 유무만을 제외하고는 똑같은 절삭조건으로 시편을 가공하였다. 이와 같이 준비된 시편을 Fig. 1과 같은 pin-on-disk형 tribotester를 이용하여 마찰·마멸실험을 행하여, 마찰계수와 마멸량을 측정하였다. 이 때, 핀부분은 베어링용 볼을 사용하고 디스크부분은 위에서 설명한 가공조건으로 절삭한 시편을 사용하였다. 이 실험에서는 마찰·마멸현상과 가공조건과의 관계를 표면품위라는 매개체를 통하여 고찰하기 때문에, 각 조건에서의 가공변질층이나 잔류응력 외에 가공면의 경도나 표면의 균열의 유무 등을 관찰하였고, 디스크들중 일부는 모재와 마멸트랙부분의 잔류응력을 측정함으로써, 마멸전후의 잔류응력의 변화를 비교하였다. 여기서 얻어진 가공조건에 따른 표면품위의 변화를 통하여 가공조건과 마찰·마멸과의 관계를 고찰해 보았다.

3. 실험장치

이 실험에서 사용되는 시편은 핀과 디스크인데, 핀은 가공을 하지 않고 베어링용 볼을 사용하였고 디스크는 NC선반을 사용하여 일정한 절삭속도로 단면가공하였다. 이때 가공조건을 선택하는 요소중 하나는 거칠기를 일정하게 유지하는 것이다. 이것은 거칠기에 의한 마찰과 마멸의 영향을 줄이는 것 이외에 디스크의 마멸량 측정의 정밀도를 향상시키기 위해서이다. 마멸량을 구할 때 surface profiler를 이용하여 마멸트랙의 형상을 측정하여 마멸트랙의 단면적을 구하였다. 이 때 구한 단면의 길이는 최소 10 μm 정도였다. 따라서 마멸트랙의 단면 형상과, 가공때문에 발생하는 거칠기곡선과 구별할 수 있기 위하여서는 디스크를 약 Rmax 5 μm 이하로 유지하는 것이 좋다. 그리고 디스크 가공시 사용된 공구는 노우즈반경이 0.8 mm인 세라믹 (Al₂O₃) 팁과 TiN으로 코팅된 초경팁을 사용하였다. 공구

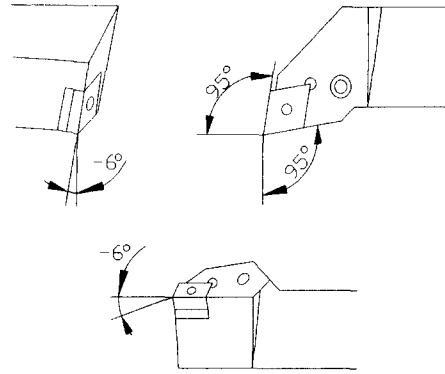


Fig. 2 Specification and geometry of tip holder (PCLNR2525-M12)

의 형상과 제원은 Fig. 2와 같다.

이렇게 준비한 핀과 디스크는 Fig. 1의 tribotester에 설치하고 디스크부분을 회전시켜 두 시편을 상대운동시켰다. 이 때 발생한 마찰력은 strain-ring에 전달되어 압축력 또는 인장력을 발생시킨

Table 1 Measurement apparatus

Device	Specification	Manufacture & Type
Tribotester	Speed : 120 rpm Normal load : 50~500 gf	Pin-on-disk type
Strain amplifier		Kyowa DPM711S
A/D converter	A/D : 8 ch D/A : 1 ch	PCL711S
Surface profiler		Mitutoyo SV-600
Micro hardness tester	Normal force : 10 gf~1000 gf	Buehler Micro2003
Metallurgical microscope	Magnification : ×50~×1000	Union optical Co., LTD. Versamet-3
Residual-stress Analyzer		Denver proto XRD 1000L
Microbalance	Resolution 10 ⁻⁵ g	Mitutoyo SV-600 series
Computer	80386 Microprocessor Based personal Compuer	

다. 이 힘은 strain-ring에 부착된 strain gage에 의하여 전압으로 변환되고, 이 전압값은 amp에 의하여 증폭되어 AD board를 통하여 PC에 저장된다. 측정된 전압값을 strain-ring의 교정결과를 이용하여 마찰력(마찰계수)으로 변환하여 최종결과를 얻었다. 그리고 실험이 끝난 후 surface profiler를 이용하여 디스크의 마멸트랙의 단면적을 측정하였다. 디스크의 표면의 경도는 미소경도기로 측정하

였고 금속현미경으로 표면의 균열의 유무를 조사하였다. 그리고 다이아몬드절단기를 이용하여 디스크의 단면을 절단하고 에칭하여 단면의 조직변화를 관찰하였다. 각 실험은 3번의 반복실험을 하여 평균을 취하였다. 실험에 사용된 장비목록과 사양은 Table 1과 같고, 실험전반에 걸쳐 설정된 실험조건은 다음과 같다.

온도	습도	회전속도	Normal force	노출조건
10 °C ~ 20 °C	20 % ~ 40 %	120 rpm (0.5 m/s ~ 0.3 m/s)	0.5 N (500 gf)	일반공기

4. 실험소재

4.1 디스크의 소재

본 실험에서는 가공조건에 따른 탄소강의 마찰·마멸현상의 고찰을 주 목적으로 하고 있기 때문에

주 시편을 디스크로 활용하고 핀은 가공을 요하지 않는 부품으로 선택하였다. 이 실험에서는 두가지 소재의 디스크가 사용되었다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 SM45C와 성분은 비슷하지만 정도에서 차이가 있는 SM20C를 선택하였다. 이에 대한 성분⁽⁷⁾은 다음과 같다.

(a) SM20C

C	Si	Mn	P	S
0.18~0.23	0.15~0.35	0.30~0.60	<0.030	<0.035

(b) SM45C

C	Si	Mn	P	S
0.42~0.45	0.15~0.35	0.60~0.90	<0.030	<0.035

4.2 핀의 소재

핀은 베어링에 사용되는 볼을 사용함으로써 일정한 상태를 유지하였다. 볼의 경도와 표면조도는 5개의 볼을 임의로 선택하여 각각 2번씩 측정하였다. 사용된 볼의 성분⁽⁷⁾ 및 경도, 표면조도는 다음

과 같다.

- (1) 재질 : 고탄소 크롬 베어링 강재 (STB2)
- (2) 볼의 직경 : 6.35 mm
- (3) 화학성분 :

Cr	C	Si	Mn	P	S
1.30~1.10	0.95~1.10	0.15~0.35	<0.50	<0.025	<0.025

(4) 경도 : Hv 910 (표준편차 31.2)

(5) 거칠기 :

	평균	표준편차
Ra	0.15 μm	0.07
Rmax	0.73 μm	0.36

5. 실험결과 및 고찰

5.1 가공변질층의 변화와 마찰·마멸

SM45C, SM20C를 각각 Table 2와 같은 가공조건으로 단면가공하였다. 앞에서도 설명한 것처럼 가공조건을, 우선 가공변질층의 차이를 확실하게

Table 2 Machining condition of disk (SM45C and SM20C)

Number		1	2	3	4	5
Machining condition	Cutting speed	300 m/min	200 m/min	8 m/min	5 m/min	2 m/min
	Depth of cut	0.3 mm	0.3 mm	0.6 mm	0.8 mm	1 mm
	Type of tip	Ceramic	Ceramic	Coating	Coating	Coating
	Cutting fluid	No	No	Yes	Yes	Yes
Roughness	Ra	0.3 μm	0.3 μm	0.4 μm	0.4 μm	0.5 μm
	Rmax	1.8 μm	1.6 μm	3.0 μm	3.4 μm	3.80 μm

보여주고 표면조도를 Rmax 5 μm 이하로 유지할 수 있는 지를 선택의 기준점으로 삼아 선택하였다.

Table 2에서 나타낸 5가지의 가공조건 중, 1번과 2번은 단면조직사진으로 보았을 때, Fig. 3(a)와 같이 가공변질층이 작거나 거의 없는 경우이다. 그리고 3번, 4번, 5번은, Fig. 3(b)와 같이 가혹한 가공변질층이 확인된 경우이다. 두 경우를 비교해 보았을 때 가혹한 가공조건인 경우에는 Fig. 4에서 나타난 것과 같이 비교적 높은 경도를 나타내고 있

다. 그러나 Fig. 5에서 보여준 마멸트랙의 단면적의 변화율과 비교해 보면, 경도가 증가할 경우 마멸트랙의 단면적의 변화율, 즉 마멸량은 증가하고 있다. 이러한 마멸량의 변화는 Fig. 6과 Fig. 7에 나타난 마멸트랙의 형상의 변화에서도 쉽게 느낄 수 있으며 경도가 높은 경우에도 불구하고 마멸량이 높다는 것은 Archard 식과 모순된다. 이 원인을 살펴보기 위하여 경도 이외의 요소를 살펴보았다. Fig. 3(b)의 시편의 단면조직과 같은 심한 가



(a) Cutting speed 300 m/min feedrate 0.05 mm/rev depth of cut 0.3 mm



(b) Cutting speed 2 m/min feedrate 0.05 mm/rev depth of cut 1 mm

Fig. 3 Photomicrograph of deformed region of SM20C (etching condition : Nitric acid 3 ml, Methanol 100 ml)

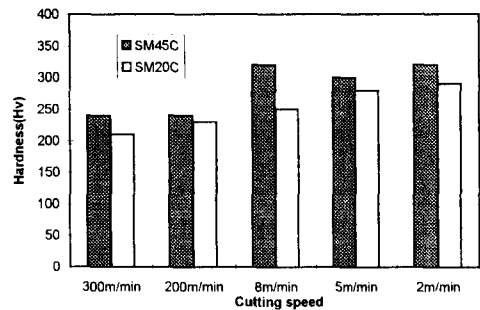


Fig. 4 Change of disk's hardness due to machining condition

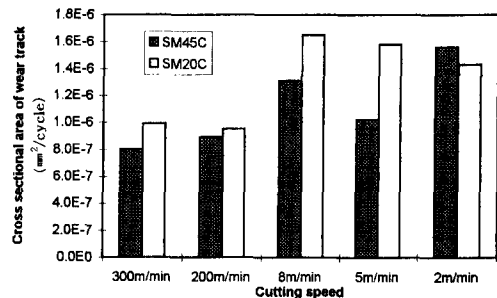
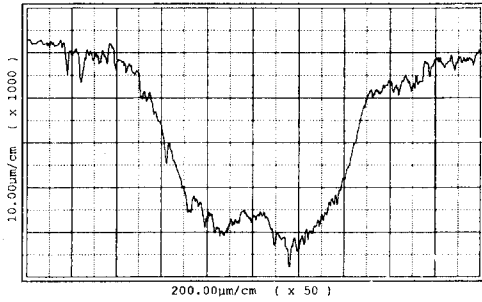
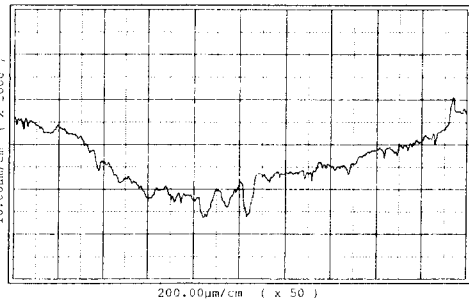


Fig. 5 Cross sectional area of wear track after 21600 cycles

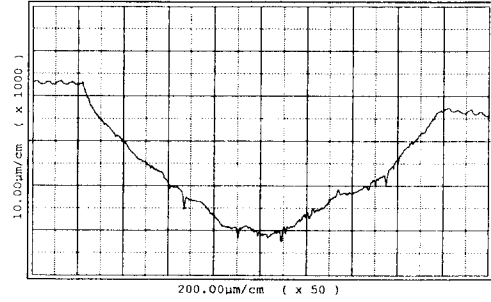


(a) Cutting speed 2 m/min, feedrate 0.05 mm/rev, depth of cut 1 mm

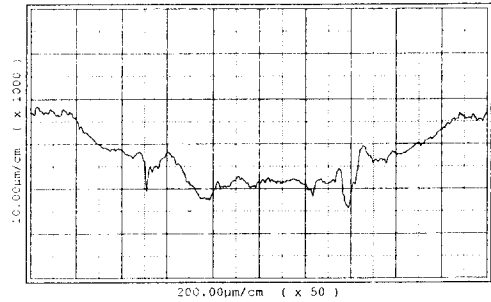


(b) Cutting speed 300 m/min, feedrate 0.05 mm/rev, depth of cut 0.3 mm

Fig. 6 Wear profiles in various machining conditions in SM45C after 21600 cycles



(a) Cutting speed 2 m/min, feedrate 0.05 mm/rev, depth of cut 1 mm



(b) Cutting speed 300 m/min, feedrate 0.05 mm/rev, depth of cut 0.3 mm

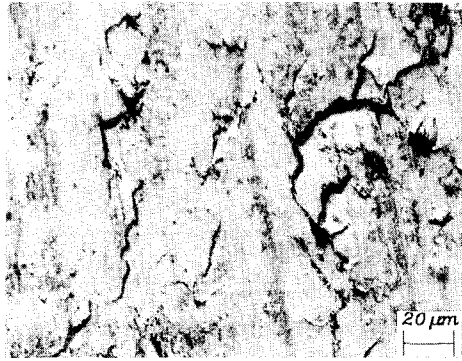
Fig. 7 Wear profiles in various machining conditions in SM20C after 21600 cycles

공변질층의 형성을 발생시키는 가혹한 가공조건을 절삭한 시편의 표면은, Fig. 8(a)에서와 같이 표면에 균열이 발생하였지만, Fig. 3(a)와 같이 가공변질층이 거의 형성되어 있지 않는 경우에는 Fig. 8(b)와 같이 표면에 큰 균열을 발견할 수가 없다. Fig. 8(a)와 같은 균열은 지속에서 절삭깊이를 크게 하여, 표면에 심한 절삭력이 작용하였기 때문에 생성된 것으로 사료된다. 그런데 두 면이 접촉하여 상대적인 운동을 할 때는 마찰력은 발생하고, 이러한 마찰력은 최대전단응력의 위치를 내부에서 표면으로 끌어 올리는 역할을 한다.⁽⁸⁾ 따라서 Fig. 8(a)와 같이 균열이 발생한 표면이 비록 경도는 높을 지라도 더 심한 마멸을 보인 것은, 균열에서부터 파괴가 전파되었기 때문으로 생각된다. Archard는 마멸량에 대한 식을 유도할 때, 단순히 경도만을 마멸현상을 설명하는 주요인자로 설정함으로써 위의 실험 결과와 모순되는 현상이 발생하였다. 따라서 마멸현상에서는 표면품위 차원에서 경도외의 인자들도 반드시 고려해야 한다.

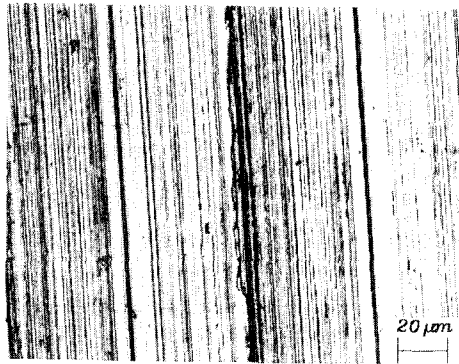
마찰계수는 Fig. 9와 Fig. 10에 나타난 것과 같이, 모두 정상상태에서 약 0.7~0.8에서 일정한 값

을 나타냈다. SM45C를 디스크의 재료로 사용한 Fig. 9에 나타난 실험결과에서는 가공속도가 5 m/min인 경우와 300 m/min인 경우가 다른 세 경우에 비하여 마찰계수가 큰 차이를 보였다. 그러나 Fig. 10에서는 Fig. 9에서와 같은 차이를 확인할 수가 없다. SM20C는 SM45C에 비하여 경도의 큰 차이가 없으므로 똑같은 가공조건에 대하여 비슷한 경향을 보일 것으로 사료되며, 가공조건에 따른 표면경도의 변화와 가공변질층의 변화에 비추어 볼 때 Fig. 9에서 특별한 경향을 찾을 수 없다. 따라서 Fig. 9에서 나타난 마찰계수의 차이가 가공조건에 의한 마찰계수의 영향이라고 보기보다는 주위환경의 변화에 의한 것이라고 판단된다. 그러므로 가공조건에 따라 마찰계수는 크게 변한다고 볼 수가 없다는 것을 의미한다.

그런데 Fig. 9과 Fig. 10에서 모두 공통적으로 초기에는 마찰계수가 증가하다가 마찰계수는 일정해진다. 이것은 마멸입자에 의한 plowing이 마찰현상의 중요한 한 요인이기 때문이다.⁽⁹⁾ 마멸이 진행됨에 따라 마멸입자의 수가 증가하여 마멸입자에 의한 마찰력의 요소중 plowing에 의한 요소가 증



(a) SM20C turned in following condition : cutting speed 2 m/min, feedrate 0.05 mm/rev, depth of cut 1 mm



(b) SM20C turned in following condition : cutting speed 300 m/min, feedrate 0.05 mm/rev, depth of cut 0.3 mm

Fig. 8 Photomicrograph of surface of disk

가하여 마찰력이 증가한다. 그러나 어느 정도 마멸이 일어나면 마멸입자 모두가 마찰·마멸현상에 참여하지 않고 일부만 마찰·마멸현상에 참여하여 일종의 안정된 상태를 유지한다. 따라서 마찰계수는 일정하게 유지된다.

5.2 잔류응력의 변화와 마찰·마멸

가공이 이루어진 모든 물체는 잔류응력의 변화를 가져온다.⁽¹⁰⁾ 그런데 잔류응력은 재료의 파괴와 밀접한 관계를 맺고 있다. 표면층의 성질과 관계가 밀접한 마멸현상은 잔류응력과 관계가 있을 것으로 예상된다. 이러한 관계를 고찰하기 위하여 공작물의 표면에 잔류응력의 크기를 변화시켜서 마찰·마멸실험을 행하였다.

공작물의 표면에 경도변화보다는 잔류응력의 변화를 더 크게 주기위하여 Table 3과 같이 절삭유

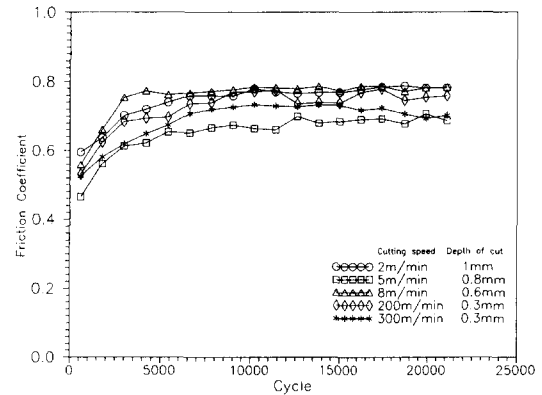


Fig. 9 Friction coefficient according to machining conditions in SM45C

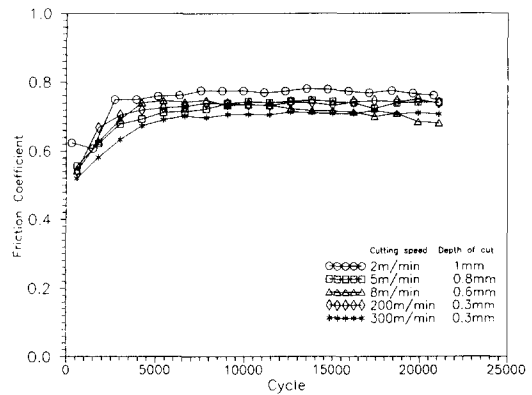


Fig. 10 Friction coefficient according to machining conditions in SM20C

의 유무에 따라 시편을 준비하였다. 이와같은 가공 조건으로 가공한 시편의 실험결과를 절삭유의 유무에 따라 모재의 경도, 잔류응력의 변화, 그리고 마멸트랙의 단면적을 Table 4에 나타내었다. Table 4에 의하면 절삭유를 사용한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 압축응력이나 낮은 인장응력이 작용한다. 특히 절삭방향의 직각방향으로는, 절삭유를 사용한 경우에는 압축응력 또는 낮은 인장응력이, 절삭유를 사용하지 않은 경우에는 모두 인장응력이 작용하고 있다. 절삭유를 사용하는 경우에는 공작물에 가해지는 열이 감소되어 가공변질층의 형성에 기계적인 영향이 상대적으로 증가하여, 표층부에 압축응력 또는 상대적으로 작은 인장응력이 작용한 것으로 생각된다.⁽¹¹⁾

Table 4의 실험결과중 가공속도가 300 m/min인 SM20C의 절삭유 사용 유무에 마멸량을 비교해 보

Table 3 Machining condition of disk

Material		SM20C				SM45C	
Machining condition	Cutting speed	300 m/min		200 m/min		300 m/min	
	Depth of cut	0.3 mm		0.3 mm		0.3 mm	
	Type of tip	Ceramic		Ceramic		Ceramic	
	Feedrate	0.05 mm/rev		0.05 mm/rev		0.05 mm/rev	
	Cutting fluid	No	Yes	No	Yes	No	Yes
Roughness	Ra	0.5 μ m	0.5 μ m	0.4 μ m	0.4 μ m	0.3 μ m	0.3 μ m
	Rmax	3.0 μ m	3.1 μ m	2.2 μ m	2.6 μ m	1.8 μ m	1.1 μ m

Table 4 Wear and residual stress variation due to usage of cutting fluid

Material		SM20C				SM45C		
Machining condition	Cutting speed	300 m/min		200 m/min		300 m/min		
	Cutting fluid	No	Yes	No	Yes	No	Yes	
Hardness		Hv 210	Hv 210	Hv 230	Hv 240	Hv 240	Hv 240	
Cross section area of wear track (mm ² /cycle)		9.92 × 10 ⁻⁷	1.48 × 10 ⁻⁶	9.5 × 10 ⁻⁷	1.52 × 10 ⁻⁶	8 × 10 ⁻⁷	1.26 × 10 ⁻⁶	
Residual stress	Initial state	Cutting direction	170 MPa	110 MPa	280 MPa	310 MPa	220 MPa	95 MPa
		Normal to cutting direction	20 MPa	-40 MPa	40 MPa	-60 MPa	130 MPa	10 MPa
	After sliding 21600cycles	Sliding direction	-131 MPa	-134 MPa	-133 MPa	-71 MPa	-139 MPa	-145 MPa
		Normal to sliding direction	-319 MPa	-236 MPa	-263 MPa	-261 MPa	-248 MPa	-294 MPa

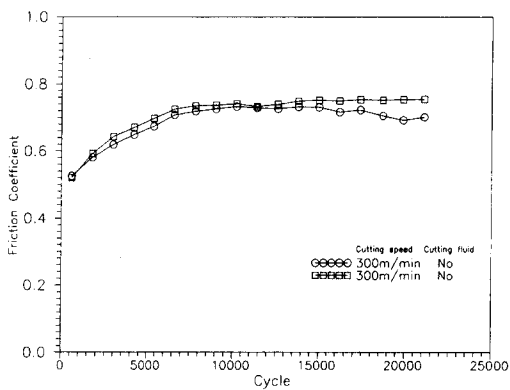


Fig. 11 Friction coefficient according to using cutting fluid in SM45C

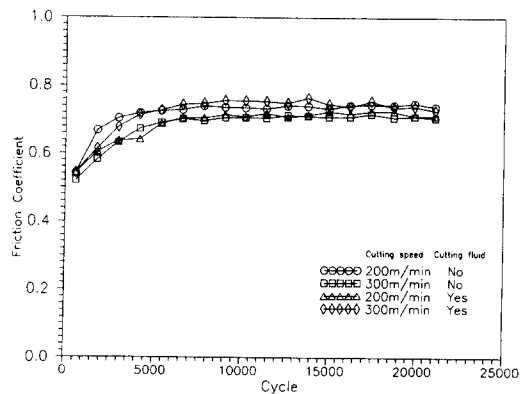


Fig. 12 Friction coefficient according to using cutting fluid in SM20C

면, 절삭유를 사용하지 않은 경우는 잔류응력이 가공방향과 그에 수직인 방향에 대하여 각각 170 MPa, 20 MPa, 마멸량은 $9.92 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{cycle}$ 이고, 절삭유를 사용한 경우는 110 MPa, -40 MPa, $1.48 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{cycle}$ 이다. 이 결과에서 인장잔류응력의 경향이 높은 재료가 더 낮은 마멸량을 나타낸다는 것을 알 수 있다. Table 4에서 가공속도에 한정하여 절삭유 유무에 따라 마멸량을 비교해 보면 위와 비슷한 경향을 확인할 수 있다. 이것은 잔류응력의 크기 또는 방향에 따라서 마멸 정도가 차이가 나고, 경도이외에 잔류응력도 마멸을 결정하는 인자임을 가리킨다. 따라서 마멸현상은 경도에 표면품질차원에서 다루어야 한다는 것을 이 실험결과로부터도 알 수 있다.

그러나 마멸트랙에서의 잔류응력을 측정했을 때, 소재의 잔류응력의 차이에 비하여 트랙에서의 잔류응력의 차이는 작았고, 마멸트랙에서는 모두 압축 잔류응력이 작용하고 있었다. 마찰계수는 큰 차이가 없이 Fig. 11과 Fig. 12에서와 같이 정상상태를 이루었을 때, 모두 0.7~0.85사이의 값들로 나타났다.

6. 결 론

SM20C과 SM45C에서 절삭속도와 절삭깊이를 달리하여 표면의 변질층을 변화시킨 후 마찰·마멸 특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결과를 내릴 수 있다.

① 심한 가공변질층을 유발시키는 가공조건의 경우 상대적으로 경도가 높음에도 불구하고 마멸량이 많은 것으로 나타났다.

② 절삭유의 유무에 의해 표면의 잔류응력을 변화시킨 결과, 인장잔류응력이 작용하는 경우가 상대적으로 마멸량이 적었다.

③ 가공조건은 표면품위를 좌우하며 이는 또한 마멸현상과 관련이 있으므로, 저마멸을 위하여서는 경우에 따라서 형상, 표면거칠기외의 표면품위와

관련된 가공조건의 최적화가 요구된다.

참고문헌

- (1) Matsumoto, Y., Barash, M. M. and Liu, C. R., 1993, "Effect of Hardness on the Surface Integrity of AISI 4340 Steel," *CIRP*, Vol. 42, pp. 39~43.
- (2) Leskovar, P. and Peklenik, J., 1982, "Influence Affecting Surface Integrity in the Cutting Process," *CIRP*, Vol. 31, pp. 447~450.
- (3) Machlin, E. S., and Yankee, W. R., 1954, "Friction of Clean Metals and Oxides with Special Reference to Titanium," *Journal of Applied Physics*, Vol. 25, pp. 576~581.
- (4) Rabinowicz, E., 1961, "Influence of Surface Energy on Friction and Wear Phenomena," *Journal of Applied Physics*, Vol. 32, pp. 1440~1444.
- (5) Komvopoulous, K., Saka, N. and Suh, N. P., 1985, "The Mechanism of Friction in Boundary Lubrication," *Journal of Tribology*, Vol. 107, pp. 452~462.
- (6) Suh, N. P. and Saka, N., 1987, "Surface Engineering," *CIRP*, Vol. 36, pp. 403~408.
- (7) 한국표준협회, KS 규격집.
- (8) Hamiton, G. M. and Goodman, L. E. 1996, "The Stress Field Created by a Circular Sliding Contact," *Journal of Applied Mechanics*, pp. 371~376.
- (9) Suh, N. P. and Sin, H. C., 1981, "The Genesis of Friction," *Wear*, Vol. 69, pp. 91~114.
- (10) Leskovar, I. P., Ferlan, M. Sc. D. and Kovac, I. M., 1987, "Residual Stresses as Essential Criteria for the Evaluation of Production Processes," *CIRP*, Vol. 36, pp. 409~412.
- (11) 손명환, 1993, 절삭가공론, 문운당, 서울, pp. 267~269.